

# MÁQUINAS TÉRMICAS: FUNCIONAMIENTO, CLASIFICACIÓN Y APLICACIONES

## 1 INTRODUCCIÓN

La máquina térmica es una máquina que tiene como misión transformar la energía térmica en energía mecánica para producir trabajo, gracias a la variación de energía disponible en el fluido que atraviesa la máquina. Presenta dos casos:

- Que transmita energía mecánica al exterior a costa de la disminución de la energía del fluido (motor).
- Que absorba energía mecánica del exterior y aumente la energía del fluido (máquina generadora).

Un motor está formado por un sistema activo que trabaja entre dos focos de temperatura diferentes describiendo un ciclo en el que recibe calor de un foco y cede calor a otro, al tiempo que intercambia un cierto trabajo.

- Cuando este trabajo proviene del calor que el sistema toma de un foco caliente (el de temperatura más alta) y cede una parte al foco frío (de temperatura más baja) estamos hablando de máquina térmica.
- Cuando el calor fluye del foco frío al foco caliente, precisando cierta cantidad de trabajo, hablamos de termobomba o máquina frigorífica.

En ambos casos, se tiene que cumplir el balance energético: el trabajo que entra al sistema debe ser igual al que sale.

La energía térmica puede proceder de distintas fuentes: solar, nuclear, combustión de sustancias, pero la mayoría obtienen la energía necesaria de combustibles fósiles como el petróleo y carbón (más conocido como motores de combustión).

## 2 CONCEPTOS FÍSICOS BÁSICOS

### 2.1 Calor y trabajo

Trabajo y calor son energías de tránsito, es decir que se producen cuando pasan de un estado a otro.

- Calor: es la energía neta transmitida entre dos sistemas cerrados con un límite común o entre un sistema cerrado y sus alrededores, en virtud de una diferencia de temperatura y que tiene lugar sin variación de los parámetros externos.
- Trabajo: es toda energía transmitida por variación de algún parámetro externo o debida a la acción de las fuerzas que se desplazan.

$$(dW = F \cdot dr)$$

### 2.2 Potencia

Es el intervalo de tiempo en el que se realiza un trabajo.

$$(P = dW / dt)$$

### 2.3 Energía

Es la capacidad de producir un trabajo. Albert Einstein definió la energía mediante una fórmula matemática:

Donde expresa que todo lo que es materia se puede transformar en energía.

$$E = m \cdot c^2$$

La energía puede presentarse:

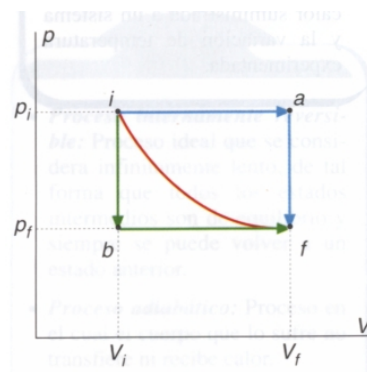
- Energía almacenada: magnitud física equivalente al trabajo o al calor. Y puede ser: *potencial* (caída en vertical), *cinética* (cuerpo en movimiento) e *interna* (la almacenada en un cuerpo, definida como la energía cinética y potencial de las partículas que forman el cuerpo, es decir, energía de rotación, traslación, vibración, posición).
- Energías de tránsito: se manifiesta cuando pasamos de un estado a otro.

## 3 TRANSFORMACIONES TERMODINÁMICAS

El trabajo se obtiene como el área bajo la curva en una gráfica presión-volumen. Pero este trabajo no va a depender solamente del estado inicial y final sino que depende del recorrido que éste realiza. Se pueden seguir tres caminos:

- Primero: expansión a presión constante (tramo i-a), para luego ir a volumen constante (tramo a-f).
- Segundo: transformación a volumen cte. (i-b) y luego a presión cte. (b-f).
- Tercero: simultáneamente a volumen cte. y presión cte. (i-f).

Cuando el estado inicial y el final coinciden se dice que el proceso es cerrado y cuando son diferentes es abierto.



### 3.1 Primer principio de la termodinámica

“La energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma”. Este principio nos viene a decir que la diferencia entre la energía suministrada a un sistema en forma de calor y la que éste proporciona a sus alrededores en forma de trabajo, coincide con la variación que experimenta la energía total del sistema.

$$E = Q_{i,f} - W_{i,f}$$

Este principio establece una relación entre el calor y el trabajo y nos define la energía interna (U).

$$Q = W + \Delta U$$

$$\begin{cases} -W = \Delta U, \text{ no hay transferencia de calor.} \\ Q = \Delta U, \text{ no se realiza trabajo.} \end{cases}$$

- $\Delta U$ , variación de energía interna.
- W, trabajo.
- Q, calor introducido al sistema.

### 3.2 Segundo principio de la termodinámica

Establecido por Nicolás Carnot, el cual afirmó que para que una máquina térmica trabajando cíclicamente produzca trabajo a expensas del calor que toma de una fuente caliente, es preciso que parte de ese calor sea cedido a una fuente más fría.

Es decir: “no se puede desarrollar un sistema que opere según un ciclo termodinámico de manera que ceda una cantidad neta de trabajo a su entorno, si recibe calor de una única fuente térmica”.

$$W = Q_i + Q_f$$

**Nota:** Existe un **tercer principio de la termodinámica** que dice: “es imposible que un sistema alcance la temperatura de cero grados Kelvin en un número finito de operaciones.

### 3.3 Gases ideales

La termodinámica se apoya en los estudios sobre el comportamiento de los gases de Boyle Mariotte y Gay Lussac. La teoría de los gases ideales está basada en las siguiente hipótesis:

- Los gases están formados por partículas indivisibles, moléculas, sin masa ni dimensiones.
- Las moléculas están en continuo movimiento sin direcciones fijas.
- Los choques de las moléculas con las paredes de un recipiente considerado rígido son totalmente elásticos.

Sus propiedades están relacionadas por la siguiente expresión:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

- R, constante de proporcionalidad de los gases ideales = 0,082 atm l/Kmol
- n, número de moles del gas  $n = \frac{M}{M_m}$  (Masa molecular)
- T, temperatura.

Boyle Mariotte y Gay Lussac plantearon una serie de ecuaciones para gases ideales (de viscosidad nula) que relacionaban las tres propiedades de los gases: presión, volumen y temperatura:

Leyes:

- Ley de Boyle Mariotte: a temperatura constante, la presión y temperatura son inversamente proporcionales.
- 1ª Ley Gay Lussac: a presión constante, el volumen y temperatura son directamente proporcionales.
- 2ª Ley Gay Lussac: a volumen constante la presión y temperatura son directamente proporcionales.

$$\frac{(P_i \cdot V_i)}{T_i} = \frac{(P_f \cdot V_f)}{T_f} = R$$

### 3.4 Procesos termodinámicos

Un proceso termodinámico es un cambio de estado en el cual varía al menos una propiedad del cuerpo. Pueden ser:

- **Isocora:** se produce sin que el sistema varíe de volumen.
- **Isobara:** se da a presión constante.
- **Isoterma:** se produce a temperatura constante.
- **Adiabática:** no existe intercambio de calor con el exterior. En estas transformaciones aparece un nuevo factor, el **coeficiente de adiabaticidad** ( $\gamma$ ) cuyo valor es el cociente entre los calores específicos del gas a presión constante ( $C_p$ ) y a volumen constante ( $C_v$ ).

$$\gamma = C_p / C_v$$

- **Politrópica:** transformación en la que la presión y el volumen están relacionados de la forma:

$$p \cdot V^n = \text{cte.}$$

- n, una constante racional entre  $+\infty$  y  $-\infty$ .
- Si  $n = 0$ , proceso isobárico.
- Si  $n = 1$ , proceso isotermo.
- $n = +\infty$  o  $n = -\infty$ , isocoro.

### 3.5 Transformaciones termodinámicas de un gas ideal

Transformación	Isobárica	Isocora	Isoterma	Politrópica
	$(V_i/T_i) = (V_f/T_f)$	$(P_i/T_i) = (P_f/T_f)$	$P_i \cdot V_i = P_f \cdot V_f$	$P_i \cdot V_i^\gamma = P_f \cdot V_f^\gamma$

## 4 MÁQUINAS TÉRMICAS

En una máquina térmica se produce un intercambio de calor del foco caliente al foco frío y como consecuencia se produce un trabajo útil.

Nicolás Carnot estudió los principios fundamentales y el funcionamiento de las máquinas térmicas analizando tres hechos fundamentales:

- Al motor se le suministra energía en forma de calor a  $T^a$  elevada, procedente de una combustión.
- El calor produce un trabajo mecánico.
- El motor cede un calor al exterior a temperatura inferior.

Obtuvo la expresión del rendimiento máximo, como el cociente entre el trabajo útil y la energía para conseguirlo.

El ciclo de Carnot es un ciclo reversible y su rendimiento depende de la temperatura de las fuentes.

Realizaremos el ciclo en cuatro etapas o tiempos como vemos en el gráfico:

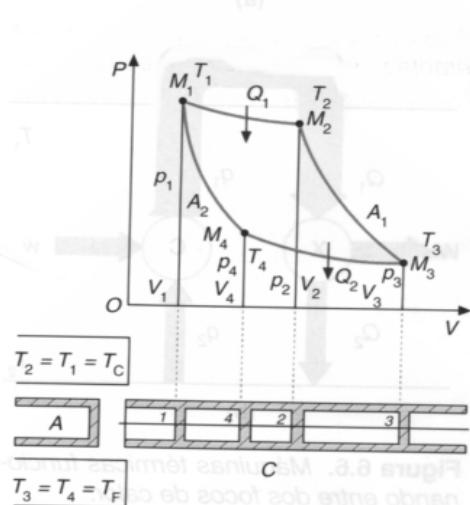


Figura 6.5. Ciclo de Carnot.

- **Tiempo 1:** Expansión isotérmica de  $M_1$  a  $M_2$  a temperatura constante  $T_1$ . El trabajo realizado es el área bajo la curva:

$$W_1 = Q_1 = R \cdot T_1 \cdot \ln(V_2/V_1)$$

- **Tiempo 2:** Expansión adiabática. No hay intercambio de calor con el exterior.

$$T_2/T_3 = (V_3/V_2)^{\gamma-1}$$

- **Tiempo 3:** El gas se comprime isotérmicamente a  $T^a$   $T_4$  del foco frío, cediendo a éste una cantidad de calor  $Q_2$ , lo que exige un consumo de trabajo:

$$W_2 = Q_2 = R \cdot T_3 \cdot \ln(V_3/V_4)$$

- **Tiempo 4:** El gas se comprime adiabáticamente y su  $T^a$  pasa de  $T_4$  al valor inicial  $T_1$ , finalizando el ciclo.

$$T_1/T_4 = (V_4/V_1)^{\gamma-1}$$

El rendimiento es entonces:

$$\eta = 1 - (Q_2/Q_1) = 1 - (T_f / T_c)$$

## 5 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS TÉRMICAS

En función al papel que desempeña la energía mecánica en ellas:

### Generadoras de energía mecánica:

#### Motores térmicos. Clasificación:

A los motores que utilizan la energía calorífica procedente de la combustión de determinadas sustancias se les llama motores de combustión.

1) En función del **lugar** donde se realiza la combustión, los motores térmicos se clasifican en:

- **Motores de combustión interna:** la combustión se produce en una cámara interna al propio motor, y son los gases generados los que causan directamente por expansión el movimiento de los mecanismos del motor (a su vez pueden ser rotativos, alternativos o a reacción). Ej.: motores Diesel, turbohélices, motores de explosión, turbinas de gas de ciclo abierto.
- **Motores de combustión externa:** el calor desprendido al quemarse el combustible es transmitido a un fluido intermedio, el cual produce la energía mecánica a través de una máquina alternativa o de una turbina (a su vez pueden ser de fluido condensable o no condensable). Ej.: máquinas de vapor, turbinas de gas de ciclo cerrado.

2) En función de la **forma** en que se obtiene la energía mecánica:

- **Alternativos:** el fluido actúa sobre pistones dotados de movimiento alternativo de subida y bajada.
- **Rotativos:** el fluido actúa sobre pistones rotantes o sobre turbinas (la energía mecánica sale en forma de movimiento circular).

### Máquinas consumidoras de energía mecánica:

- Intercambio de calor con el ambiente: Máquinas frigoríficas (se produce una absorción) y bombas de calor (e produce una cesión de calor).
- Incremento de la presión del fluido: Máquinas compresoras (rotativas o alternativas).

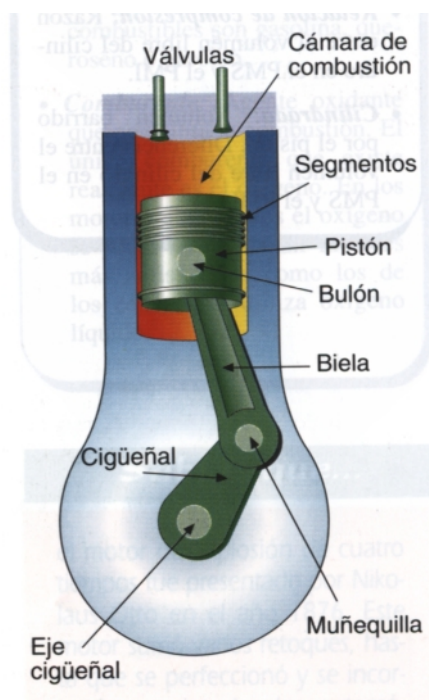
Esquema:

Máquinas Térmicas	Máquinas generadoras de energía mecánica	Motores de combustión interna	Motores Rotativos	Turbinas
				Volumétricos
			Motores alternativos	Motores de Encendido Provocado (MEP): explosión, de gasolina, Otto.
				Motores de encendido por Compresión (MEC): Diesel
		Motores de combustión externa	Motores a reacción	Autónomos o cohetes
				No autónomos o autorreactores: turbohélices
	Máquinas consumidoras de energía mecánica	Intercambio de calor	De fluido condensable	Motores rotativos
				Motores alternativos: máquina de vapor.
		Incremento de presión del fluido	De fluido no condensable	Motores rotativos
				Motores alternativos
		Máquinas frigoríficas		

## 6 MOTORES ALTERNATIVOS DE COMBUSTIÓN INTERNA (ALTERNATIVOS)

La característica principal es que transforma la energía térmica en mecánica mediante uno o varios pistones, deslizándose con movimiento lineal a través de los cilindros de forma alternada. La combustión se produce dentro de la propia máquina (combustión interna).

Partes:



La parte estructural del motor la forman la bancada y el bloque sobre los que van montados los demás elementos:

- **Cilindro:** recipiente cerrado por el cual se desliza el pistón en movimiento alternativo.
- **Pistón:** tiene forma de vaso invertido. Debe conseguir la estanqueidad de la cámara de combustión y para ello está provisto de dos o tres segmentos (o aros) colocados en unas ranuras de su parte superior.
- En la **cámara de combustión** se produce la mezcla del combustible (gasolina o gasóleo) y el comburente (aire).
- La entrada del fluido de trabajo y la salida de los gases de combustión se realiza a través de **válvulas** de admisión y escape respectivamente, situadas en la **culata**.
- **Biela:** unida al pistón mediante un bulón. Transmite el movimiento alternativo al **cigüeñal** y lo transforma en circular.

La distribución del combustible a los distintos cilindros se realiza por el árbol de levas, accionado por el cigüeñal mediante algún sistema de transmisión (cadena, correa, engranajes).

El cigüeñal actúa sobre las levas. El giro de las levas se transforma en movimiento lineal de los taqués o empujadores, los cuales actúan sobre el balancín, que es el que abre la válvula. Cuando la leva ha pasado, la fuerza del muelle hace cerrar la válvula ajustándola sobre su asiento.

Hay dos grandes grupos de motores alternativos de combustión interna: los motores de encendido por chispa (ECh) y los motores de encendido por compresión (EC). La gran diferencia constructiva se encuentra en el tipo de alimentación:

- **Encendido por chispa:** el combustible se mezcla con aire antes de entrar en el cilindro. La entrada se realiza mediante sistemas de inyección (antiguamente por un carburador) y el encendido se produce por la chispa que suministra una bujía un instante antes de que el pistón llegue al Punto más alto (PMS = punto muerto superior).

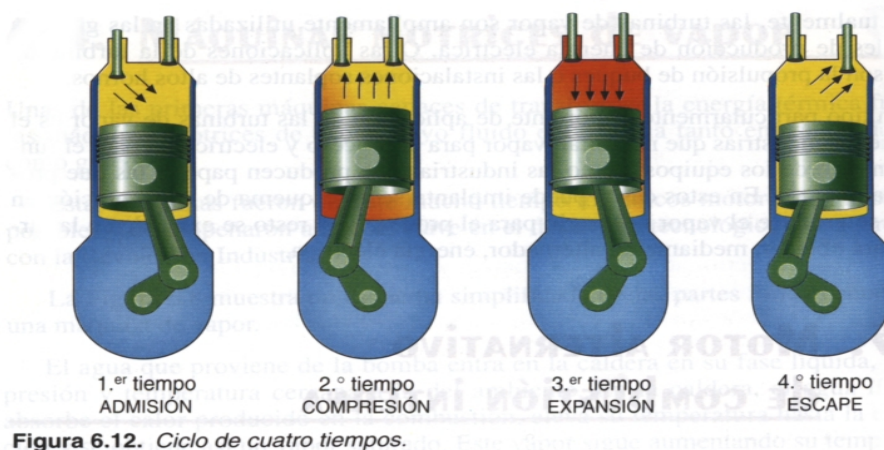
- **Encendido por compresión:** en la admisión sólo entra aire. Este aire es comprimido fuertemente, elevándose su temperatura hasta el punto que, al inyectar el combustible (cerca del PMS) éste se inflama directamente sin necesidad de chispa. Requieren de una combustión más fuerte y por tanto han de ser más robustos.

En ambos tipos de motores se suele introducir una mejora sustancial: la sobrealimentación, que consiste en introducir en los cilindros más aire y combustible del que admiten de forma natural. Esta modificación logra aumentar la potencia (para una misma potencia, nos basta con un motor más pequeño).

## 6.1 Principio de funcionamiento

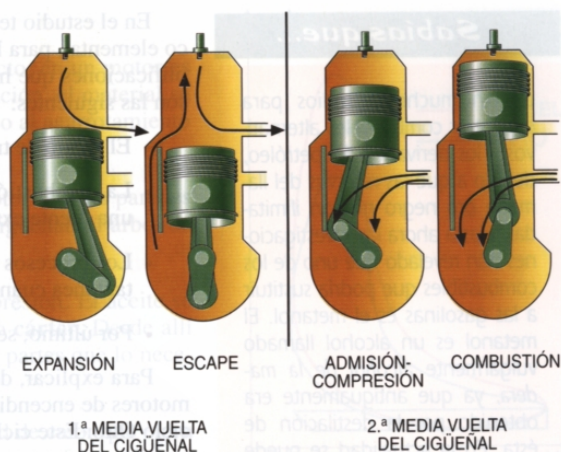
El motor realiza sobre el fluido un ciclo operativo que puede ser de dos tipos: ciclo de cuatro tiempos y ciclo de dos tiempos.

**Ciclo de cuatro tiempos:** se realiza en cuatro carreras del pistón (dos vueltas del cigüeñal)



- **Primer tiempo ADMISIÓN:** el pistón al descender crea un vacío en el cilindro que hace que éste aspire aire o la mezcla combustible, a través de la válvula de admisión.
- **Segundo tiempo COMPRESIÓN:** la válvula se cierra cuando el pistón llega al punto muerto inferior (PMI), comenzando a subir de nuevo hasta llegar al PMS.
- **Tercer tiempo EXPANSIÓN:** instantes antes de que finalice la compresión, se produce la inflamación del combustible, con el aumento de presión y temperatura. El pistón es proyectado hacia abajo, produciéndose trabajo.
- **Cuarto tiempo ESCAPE:** cuando el pistón llega al PMI se abre la válvula de escape, el pistón asciende y los gases son evacuados al exterior. Cuando ha llegado al PMS la válvula de escape se cierra y la de admisión se abre. (Inicio de un nuevo ciclo).

**Ciclo de dos tiempos:** se realiza en dos carreras del pistón. No poseen válvulas ni distribución. La entrada y salida de gases se realiza por unas lumbreras u orificios en la pared del cilindro que son descubiertos y cerrados por el propio pistón.



- **Primer tiempo:** cuando el pistón está en el PMS se produce la inflamación de los gases y la expansión, desplazando el pistón hacia el PMI. En su trayecto abre la lumbrera de escape, por donde se evacua el gas impulsado por la presión que posee. A medida que el pistón baja comprime el fluido de trabajo que se encuentra en el cárter, el cual va pasando por la lumbrera a la cámara de combustión, ayudando a barrer los gases que aún quedan de la combustión anterior hacia la lumbrera de escape.
- **Segundo tiempo:** el pistón comienza a subir completando la fase de barrido y admisión del fluido, cerrando las lumbreras de admisión y escape. En ese momento comienza la compresión hasta llegar al PMS, quedando al mismo tiempo la lumbrera de admisión abierta para que penetre el fluido en el cárter.



## 6.2 Análisis termodinámico de los ciclos

El estudio teórico de estos motores se realiza mediante un análisis termodinámico, para lo cual es necesario hacer unas simplificaciones:

- El fluido de trabajo, el aire, se considera como un gas ideal (sin viscosidad).
- La combustión se considera como si se tratara de la absorción de calor de una fuente externa.
- Los procesos de admisión y escape se supone que son una cesión de calor instantánea cuando el pistón está en el PMI.
- Se supone que todos los procesos son internamente reversibles.

Para explicar el funcionamiento de los motores de encendido por chispa se utiliza un ciclo termodinámico teórico llamado ciclo de Otto:

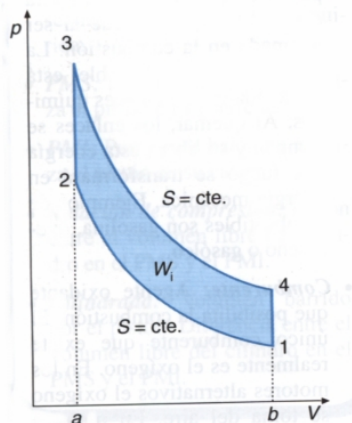


Figura 6.14. Ciclo Otto.

Proceso termodinámico:

- Tramo 1-2: se realiza la compresión adiabática del fluido de trabajo. El área bajo dicha curva es el trabajo inducido para realizar la compresión (1-2-a-b-1).
- Tramo 2-3: absorción instantánea de calor en el momento de la explosión (a volumen constante).
- Tramo 3-4: expansión adiabática del pistón. El trabajo cedido es el área delimitada bajo la curva (4-3-a-b-4).
- Tramo 4-1: extracción instantánea de calor.

El trabajo neto que se extrae del ciclo es la resta de las áreas anteriores.

El ciclo teórico para el estudio de los motores de encendido por compresión es el ciclo Diesel:

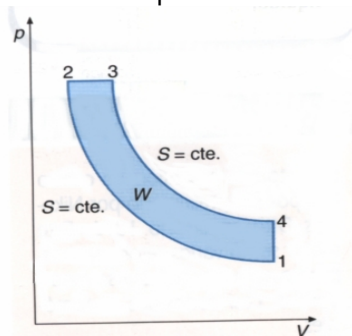


Figura 6.15. Ciclo Diesel.

Proceso:

- Tramo 1-2: compresión adiabática, sin intercambio de calor con el exterior.
- Tramo 2-3: absorción de calor a presión constante. Se produce la combustión en este tipo de motores.
- Tramo 3-4: expansión adiabática.
- Tramo 4-1: se produce la salida del calor, a volumen constante.

La diferencia entre los ciclos Otto y Diesel está en la forma en la que entra el calor en ellos (a presión constante o a volumen constante).

Los ciclos reales difieren de estos ciclos teóricos, ya que en los reales no se tienen en cuenta las simplificaciones nombradas anteriormente. Los ciclos obtenidos por medición reciben el nombre de diagramas indicados.

## 7 TURBINAS

Las turbinas o turbomáquinas obtienen la energía mecánica de salida en forma de movimiento circular. Al incidir una corriente de aire sobre unas aspas inclinadas, se produce un giro de éstas que convierte de energía del flujo del aire en fuerza giratoria sobre el eje. Ej.: molinos de viento, centrales hidroeléctricas.

### 7.1 La turbina de vapor

Las turbinas de vapor son motores de combustión externa rotativos en los que el fluido de circulación es el agua que opera entre sus fases de líquido y vapor. Su aplicación más importante es la obtención de energía eléctrica en centrales térmica.

Aunque es viable la realización del ciclo Carnot con un fluido en estado de vapor, en la práctica no es posible ya que el rendimiento global es muy bajo y el trabajo útil es pequeño. Estos inconvenientes, han hecho que se efectúen sobre este ciclo una serie de modificaciones dando lugar al **ciclo simple de Rankine** donde la absorción de calor es isobara, mientras que en el de Carnot es isoterma.

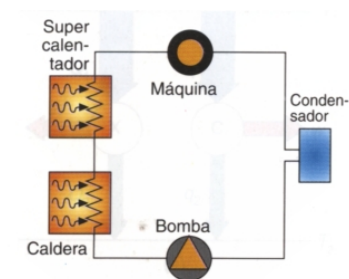


Figura 6.8. Instalación de vapor.

- El agua que proviene de la bomba entra en la caldera en su fase líquida, a presión y temperatura ambiente.
- En la caldera, el agua líquida absorbe el calor producido en la combustión, eleva su temperatura hasta la ebullición y se obtiene un vapor saturado.
- Este vapor sigue aumentando su temperatura en el sobrecalentador, con lo que se consigue un vapor sobrecalentado. Todo este proceso tiene lugar a presión constante (isobaro).
- Una vez el vapor sobrecalentado, entra en los cilindros donde se transforma la energía térmica en energía mecánica.

## 7.2 Turbina de gas

Una manera de aumentar la potencia de un motor es aumentar la presión de entrada de aire al motor. Aumentar la presión de un gas se consigue haciéndolo pasar por un compresor, pero éstos funcionan induciendo un trabajo, lo que disminuye nuestro rendimiento. Este problema se soluciona si el trabajo necesario nos sale gratis aprovechando la energía (la velocidad) que poseen los gases de escape de la combustión.

Una turbina es el dispositivo inverso a un compresor, disminuye la presión de los gases cediendo trabajo. Si colocamos una turbina a la salida de los gases de escape, el trabajo que se consigue se puede emplear en el compresor y problema resuelto. Pero como a la salida, los gases además de salir a alta presión, lo hacen a alta temperatura (lo que es perjudicial para aumentar la potencia), debemos introducir un Intercambiador de calor a la salida del compresor que enfríe los gases antes de entrar en el motor.

Las turbinas que utilizan un gas como fluido pueden ser de dos tipos:

- Turbinas de gas de ciclo abierto: en ellas es necesaria la renovación del aire y del combustible. La combustión tiene lugar en el fluido de trabajo y los gases se expulsan a la atmósfera.
- Turbinas de gas de ciclo cerrado: no hay renovación del fluido, sino que circula por toda la instalación continuamente. La combustión tiene lugar fuera del fluido de trabajo.

### 7.2.1 Turbinas de gas de ciclo abierto

Atendiendo al parámetro que mantienen constante, pueden ser:

- Turbinas de combustión a presión constante: con aumento de la temperatura y volumen del fluido.
- Turbinas de combustión a volumen constante: el incremento de presión, provoca un chorro de gas de combustión sobre las paletas del rotor de la turbina. El ciclo teórico según el cual funciona este tipo de turbina se llama **ciclo Brayton**.

### 7.2.2 Órganos principales de la turbina de gas

- Compresor centrífugo: constituido por el rotor y el difusor.
- Compresor axial.
- Las cámaras de combustión.
- Sistema de alimentación del combustible.
- Turbina (propriadamente dicha): de acción y de reacción.
- Intercambiador de calor (fijo o rotativo regenerativo).
- Órganos axiales: motor de arranque y el encendedor.

### 7.2.3 Aplicaciones

- Como unidad motriz terrestre y marítima.
- Como motor de reacción. Turborreactores o motores a chorro.
- Turborreactor de doble flujo (turboventilador o turbofán).
- Turbina de gas para los aviones accionados con hélice. Turbohélices.
- Motor compuesto.

## 8 MOTORES ROTATIVOS

Se crearon con el objeto de poseer características constructivas y funcionales superiores a los alternativos. Se trata de motores volumétricos sin el sistema biela-manivela, con ciclos de funcionamiento similares a los alternativos. Aunque se les llama alternativos, deben considerarse distintos a las turbinas ya que éstas funcionan a combustión continua, mientras que los motores rotativos (de pistón alternativo) tienen un funcionamiento de combustión intermitente.

El estudio de motores de pistones rotativos intenta obtener ventajas como: un fácil equilibrado, una construcción más simple, volumen pequeño y peso limitado. Ejemplo: **Motor Wankel**.

## 9 MÁQUINAS FRIGORÍFICAS. LA BOMBA DE CALOR

Una máquina frigorífica es un sistema que evoluciona cíclicamente consumiendo calor y haciendo pasar calor de un foco de menor temperatura ( $T_f$ ) a otro de mayor temperatura ( $T_c$ ).

### 9.1 Fundamentos termodinámicos de las máquinas frigoríficas

El principio de funcionamiento de los ciclos de refrigeración y también de las bombas de calor, está en el ciclo inverso de Carnot, con el que se obtiene la máxima eficiencia funcionando entre dos focos caloríficos. Este ciclo consta de cuatro procesos: dos isotermos y dos adiabáticos, todos ellos reversibles.

Ciclo:

- Expansión adiabática isoentrópica (reversible).
- Expansión isoterma.
- Compresión adiabática isoentrópica (reversible): es el efecto frigorífico
- Compresión isoterma: es el proceso que consume trabajo.

El proceso de extracción de calor del foco frío se efectúa mediante la vaporización de un líquido a baja presión, y la cesión de calor se realiza mediante la condensación a presión más elevada del vapor formado.

El ciclo de Carnot, permite hacerse una idea del máximo rendimiento teórico que pueden tener los ciclos trabajando entre dos focos. Esto se resume en lo que se denomina **corolarios de Carnot**, que dicen:

- Todos los ciclos de potencia reversibles que operan entre las dos mismas temperaturas tienen el mismo rendimiento teórico.
- El rendimiento térmico de un ciclo de potencia reversible, es siempre mayor que el rendimiento térmico de cualquier otro ciclo irreversible cuando ambos operan entre las mismas temperaturas.

La calidad de una máquina frigorífica viene dada por la eficiencia o coeficiente frigorífico, que se define como la relación entre la cantidad de calor que se extrae del foco frío y el trabajo consumido para dicha extracción:

$$\varepsilon = Q_f / W_{\text{ciclo}} = Q_f / (Q_c - Q_f) = T_f / (T_c - T_f)$$

### 9.2 Métodos de producción de frío

Fundamentalmente, hay dos sistemas de refrigeración:

- Los de vapor: el refrigerante se vaporiza y condensa alternativamente en los distintos elementos del circuito.
- Los de gas: el refrigerante permanece siempre en estado gaseoso.

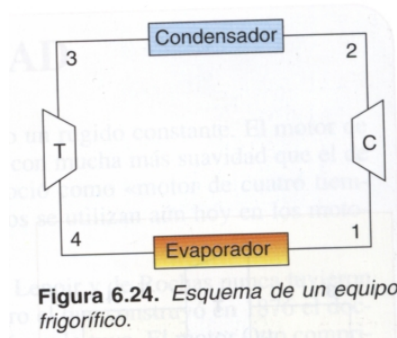
El método de vaporización indirecta es el fundamento de toda la industria frigorífica actual.

En función de los sistemas de recuperación de los gases, los procedimientos de vaporización pueden ser:

- Por absorción de vapor.
- Por adsorción de vapor.
- Por eyección de vapor.
- De compresión mecánica de vapor.

### 9.3 La máquina frigorífica de compresión mecánica de vapor

Para producir la vaporización indirecta se emplean fluidos que hierven a baja temperatura a presión atmosférica, denominados fluidos frigoríficos o refrigerantes.



Proceso:

- El fluido es introducido en el evaporador. El fluido se evapora con una absorción de calor.
- El compresor aspira los vapores fríos del evaporador (a presión baja) y los descarga comprimidos (a mayor presión y  $T^a$ ) en el condensador.
- Los vapores producidos son recuperados, se enfrían y se condensan en el condensador (a alta presión para garantizar el estado líquido). Se pasa de gas a líquido.
- La turbina reduce la presión del líquido a la salida del condensador, a la presión del evaporador y disminuye su  $T^a$ .
- El líquido así regenerado se dispone a comenzar otro ciclo.



#### 9.4 La bomba de calor

El objetivo de una bomba de calor es el inverso de una máquina frigorífica, es decir, aportar calor a un recinto que se encuentra a temperatura ( $T_c$ ) desde un foco de temperatura ( $T_f$ ) inferior, para lo cual se precisa de un aporte de trabajo. Una bomba de calor es exactamente igual que una máquina frigorífica que dispone de: evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión (Turbina).

La eficiencia de una bomba de calor es superior a la unidad ya que viene expresada por:

$$\varepsilon = Q_c / W = 1 + Q_f / W$$

### 10 MÁQUINAS COMPRESORAS

Un compresor es una máquina térmica consumidora que transforma la energía mecánica en energía térmica mediante procesos de compresión. Proceso de compresión: es aquel en el cual se eleva la presión de un fluido gaseoso mediante una disminución del volumen específico del mismo (es un variador de caudal).

#### 10.1 Clasificación de los compresores

- *Compresores volumétricos o de desplazamiento positivo:* toman una porción de fluido (aire) y la comprimen, expulsando sucesivamente un proceso de carácter pulsatorio. Pueden ser alternativos o rotativos.
- *Turbocompresores: para elevados caudales y relaciones de compresión medias-bajas.* Toman fluido continuamente, de maneja que la salida de éste comprimido, se realiza de manera continua. Pueden ser centrífugos o axiales.

### 11 PRINCIPALES APLICACIONES DE LAS MÁQUINAS TÉRMICAS

#### 11.1 Máquinas generadoras

- Motores de combustión interna: Los motores alternativos son los más desarrollados y se emplean en: automoción en general: motocicletas, automóviles, vehículos industriales. Los motores a reacción en la industria aeroespacial, como unidad motriz terrestre y marítima y en la industria aeronáutica.
- Motores de combustión externa: la turbina de vapor es la más extendida para la producción de energía eléctrica. Destacar la tradicional máquina de vapor, actualmente en desuso pero que fue uno de los artífices de la revolución industrial.

#### 11.2 Máquinas consumidoras

- Máquinas frigoríficas: de compresión mecánica, es la más utilizada tanto en la industria como en el uso doméstico y la bomba de calor de uso en climatización.
- Máquinas compresoras: las volumétricas cuando se precisan caudales bajos pero relaciones de compresión elevadas y los turbocompresores cuando se necesitan caudales elevados pero con relaciones de compresión medias y bajas.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CONCEPTOS FÍSICOS BÁSICOS.....</b>	<b>1</b>
2.1	CALOR Y TRABAJO.....	1
2.2	POTENCIA.....	1
2.3	ENERGÍA.....	1
<b>3</b>	<b>TRANSFORMACIONES TERMODINÁMICAS.....</b>	<b>1</b>
3.1	PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA.....	2
3.2	SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA.....	2
3.3	GASES IDEALES.....	2
3.4	PROCESOS TERMODINÁMICOS.....	2
3.5	TRANSFORMACIONES TERMODINÁMICAS DE UN GAS IDEAL.....	3
<b>4</b>	<b>MÁQUINAS TÉRMICAS.....</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS TÉRMICAS.....</b>	<b>3</b>
<b>6</b>	<b>MOTORES ALTERNATIVOS DE COMBUSTIÓN INTERNA (ALTERNATIVOS).....</b>	<b>4</b>
6.1	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	5
6.2	ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE LOS CICLOS.....	6
<b>7</b>	<b>TURBINAS.....</b>	<b>6</b>
7.1	LA TURBINA DE VAPOR.....	6
7.2	TURBINA DE GAS.....	7
<b>8</b>	<b>MOTORES ROTATIVOS.....</b>	<b>7</b>
<b>9</b>	<b>MÁQUINAS FRIGORÍFICAS. LA BOMBA DE CALOR.....</b>	<b>8</b>
9.1	FUNDAMENTOS TERMODINÁMICOS DE LAS MÁQUINAS FRIGORÍFICAS.....	8
9.2	MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO.....	8
9.3	LA MÁQUINA FRIGORÍFICA DE COMPRESIÓN MECÁNICA DE VAPOR.....	8
9.4	LA BOMBA DE CALOR.....	9
<b>10</b>	<b>MÁQUINAS COMPRESORAS.....</b>	<b>9</b>
10.1	CLASIFICACIÓN DE LOS COMPRESORES.....	9
<b>11</b>	<b>PRINCIPALES APLICACIONES DE LAS MÁQUINAS TÉRMICAS.....</b>	<b>9</b>
11.1	MÁQUINAS GENERADORAS.....	9
11.2	MÁQUINAS CONSUMIDORAS.....	9